
核能簡訊
雙月刊
中華民國九十五年六月號
100
沉穩內斂，工程師性格－側寫台電董事長陳貴明
學習、效法大自然的核能（上）
美國公眾對核能表達強烈支持
車諾比爾核能電廠事故20年回顧
重新思考核燃料循環
日本核子燃料循環服務不該自掃門前雪
開放雅卡山管制上限呼聲四起

100 核能簡訊
核能簡訊雙月刊
民國九十五年六月十日出刊
JUNE

CONTENTS



出版單位／中華民國核能學會
財團法人核能資訊中心
地　　址／新竹市光復路二段一〇一號
研發大樓208室
電　　話／(03) 5711808
傳　　真／(03) 5725461
網　　址／http://www.nicenter.org.tw
E-mail／nic@nicenter.twmail.net
發 行 人／朱鐵吉
編輯委員／鄭安弘、蔡明隆、林明雄、蕭金益
翁寶山、潘　欽、洪益夫、開執中
鍾　堅、顏上惠、萬永亮、劉仁賢
黃文盛
主　　編／朱鐵吉
顧　　問／喻冀平
文　　編／鍾玉娟、翁明琪、陳婉玉
美　　編／孫秀琴
編 印 者／信誠廣告事業有限公司
地　　址／台北市興安街100號3樓之5

行政院新聞局出版事業登記證・局版臺誌字第851號

編者的話

感謝讀者10多年來的陪伴與支持，核能簡訊堂堂邁入第100期的里程碑。除了出版單位的用心與努力之外，更感謝所有投稿作者的熱心參與，不吝惜提供所學所知與所有讀者分享；也感謝讀者的批評指教和鼓勵。編輯室將會更賣力的蒐集資料及邀約各方核能相關的稿件，提供給讀者更新、更寬廣的核能視野。

車諾比爾的核能電廠事故發生至今已20週年。經由統計數據得知，只有極少數的人在救災及清除污染時，因受到很高的輻射劑量才死亡；而受污染地區的大部分居民只接受到比背景輻射還低的全身劑量。藉由大自然的循環代謝，加上人為採取的相關因應措施，已使得大部分曾受核種污染的地區，其輻射值已降低數百倍。基本上目前並未發現事故對其他周圍區域民衆有深遠的負面健康影響，也沒有發現廣泛的污染會繼續造成人體健康的實質威脅。但因當地經濟環境的貧困及錯誤的觀念，受災區域居民仍無法消除對輻射威脅的恐懼。所以，除了核能安全的加強，該地區社會經濟的復原以及去除當地居民的心理負擔更是首要之務。

肩負所有台灣民衆電力需求的供應者-台電公司，60年來不曾稍歇、努力的照亮著台灣每一吋土地。近年來因國際原油價格飆漲，使得發電成本激增，再加上核四工程衆多問題，台電公司的經營陷入前所未有的困境。在台電工作33年、從基層做起的陳貴明董事長，在此艱難之時，一肩挑起了這沉重的擔子。如何帶領台電公司披荊斬棘、突破困境，正是對陳董事長的一大考驗。



國內新聞 News

中央研究院院長李遠哲昨日在「國家永續發展會議」會中指出，在再生能源技術成熟前，核四廠應繼續興建，並應讓核一、核二與核三廠延役。同時，還應仿效歐、美與日本等先進國家，發展較沒有環保問題的「核聚變」技術，否則單靠再生能源，台灣在50年後仍是石化原料主要輸入國。（編註：核聚變又稱核熔合）。

他認為，改善之道是先利用核能降低對化石原料的依賴，透過發展環保的核聚變與善用太陽光電、太陽能、東岸海流、海溫落差等再生能源技術，待相關技術成熟後，再推動非核家園政策。李遠哲強調，台灣在往後的1、20年內仍應朝核能發電發展，目前只有回收放射性廢棄物，核能安全問題並不嚴重，核二、核三廠應沿用，核四也應繼續興建。

（2006.04.22.工商時報）

台電提出的核一廠核燃料最終貯存計畫環境差異分析初審，已在2月有條件通過，即將送到環評大會。一旦環評通過，核一廠將把現行以濕式貯存核燃料棒，改成乾式貯存。

未來一旦興建完成，這也是我國第一次以乾式貯存高放射性廢棄物，而核二廠的核燃料池要到民國104年才會滿，未來也計畫以乾式貯存。（2006.04.26.自由時報）

行政院副院長蔡英文前天在民進黨中常會報告油電價格調整問題後，呂秀蓮副總統發言說，中研院院長李遠哲最近對核能提出最新的觀念，根據總統府科技諮詢小組會議的討論，過去科技認為放射性廢棄物的處理很難，所以致力反對核能，但現有技術面已可突破，放射性廢棄物處理不是問題。

她說，京都議定書實施後，石油在40年後會被用完，二氧化碳增加全球暖化，對環境破壞很大，「現在的能源科技認定，核能是綠色能源」，價值觀起了很大的變化。行政部門和民進黨政策，應該研究此一趨勢，因應新時代。

（2006.04.28.中國時報）

爭議多時的放射性廢棄物場址選定問題獲得重大突破，立法院昨天通過選址條例案，未來選定場址必須經過地方公投同意。此外，經濟部可以由核能發電後端營運基金提撥經費作為回饋金，但總金額不得超過50億元。

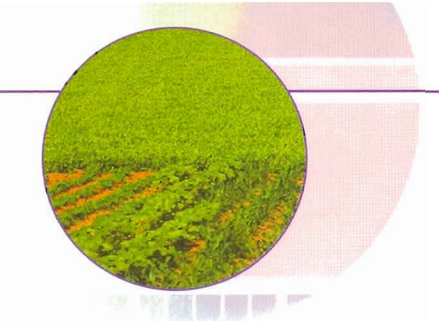
立法院昨天通過「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例草案」，條文納入同意性公投機制，建議候選場址必須經公投同意者，才得為候選場址。若候選場址有兩個以上者，由經濟部決定。

條文也明訂，回饋金不超過50億元，分配比例部分，處置設施場所所在地鄉鎮市不低於40%，處置設施場所鄰近鄉鎮市合計不低於30%，無鄰近鄉鎮市者，處置設施所在地鄉鎮市及縣市各增加15%，處置設施所在地縣市不低於20%。

縣市政府若自願設置處置設施，應經縣市議會及鄉鎮市民代表會議決通過，並經公告設置計畫及舉行聽證後，於潛在場址公告之日起4個月內，提出申請。

（2006.04.29.中國時報）

國立清華大學原子科學技術發展中心研究員林建昌博士將在6月6日美國核能學會(American Nuclear Society)的年度大會中，接



受頒發2006年特別獎，表彰放射化學專家對核能科技的貢獻(2006 Special Award recognizing contribution to Radiochemistry in Nuclear Technology)，此一特別獎乃是該專業領域的最高榮譽獎。林博士是40年來首次獲頒此獎的放射化學專家，也是美國核能學會多年來表彰傑出學者專家中，第一位出生於台灣的科學家。放射化學屬於化學與核子科學領域的學門，它的研究與應用範圍包括：環境輻射偵測、地球化學、核子醫學、同位素製造與應用等。而在核能電廠的安全運轉，放射化學更扮演極重要的角色，它負責燃料完整性的檢測、放射性物質排放的偵測與控制，以及放射性廢棄物的處理與處置等。

(2006.05.19.本刊訊)

國外新聞 News

美國擴展核能政策

與英國、法國、俄羅斯、日本以及中國大陸協商討論後，美國政府宣布經由全球核能夥伴計畫（Global Nuclear Energy Partnership, GNEP）「將與擁有先進核能技術的其他國家合作，以發展新的抗擴散再循環技術，增加發電量、減少放射性廢棄物量、並提升核能發電安全性」。

美國境內核能夥伴計畫目標包括：降低對進口化石燃料的依賴，及藉由建造新一代核能電廠擴大美國境內核能的利用率，而相關獎勵方案皆已出爐。核能夥伴計畫包括為開發中國家發展小型反應器的合作方案。夥伴計畫包含兩個新重點：一則利用經實驗室證實的UREX+技術分離所有的超鈾元素及非反應器級的鈽，二則由進步型燃燒室（快中子）反應器（ABR）於發電時同時以燃耗上述超鈾元素。

美國除了有軍事上使用金屬燃料的經驗外，還有一些處理氧化燃料的經驗－如1966年至1972年間在紐約州營運的小型西谷處理廠，以及建於南卡羅萊納州邦威爾（Barnwell）每年1500噸的處理廠，但由於政策的改變該廠並未營運，目前此處理廠已拆除。法國、英國與日本處理廠處理氧化物燃料的程序可能需依核能夥伴計畫做修改。然而，此計畫反倒給了這些處理廠重生的機會。核能夥伴計畫除了使用UREX+技術外，也屬意可能較適合快中子反應器燃料、但較少研發的高溫處理技術。

有座核子燃料再處理工程規模示範廠（engineering-scale demonstration, ESD）計畫從2011年開始營運。此示範廠設計每年可處理10-25公噸，為往後每年處理2000公噸的大規模廠舖路。官方表示，「美國將在技術研發領域尋求與燃料供應國合作」。核子燃料再處理最後會賸下高放射性廢棄物的分裂產物，其背後隱含意義為－雅卡山（the Yucca Mountain）貯存場是否足以長期負荷來自美國（及其他許多地區？）所有的廢棄物。進步型燃燒室反應器計畫將依據先前快中子反應器經驗建造。進步型反應器機組將組合成100萬千瓦級的模組電廠，並尋求機組設計認證。首部實驗性質的進步型燃燒室測試反應器容量10-15萬千瓦電，將於2014年運轉。到2023年的第2階段時，進步型燃燒室反應器標準電廠將由數個模組構成，隨後進行商轉。

在核能夥伴計畫宣布之前不久，美國總統指出，在2025年以前，需要以替代能源取代3/4以上從中東進口的石油量。他並公布先進能源計畫

(Advanced Energy Initiative)，主要在提升乾淨能源技術的研究，特別是「零排放碳的燃煤電廠」、再生能源、以及「乾淨、安全的核能」。此外，他亦宣布增加對較適混合與電動汽車的電池，以及氫能動力車輛的研究－二者均隱含核能的發電容量。White House 31/1/06, US DOE 6/2/06 see also GNEP web site

美國科學院對低放射性廢棄物的報告

美國國家科學院國家研究委員會日前發布一份低活度放射性廢棄物報告。目前美國相關法規的規範對象是以產生此類放射性廢棄物的工業業界為主，且造成浪費的反常現象而無任何利益。業者在處理與處置這一類核子設施廢棄物時，要歷經重重關卡，而其他來源的高活度廢棄物卻可就地掩埋。此份報告呼籲法規要以風險為基礎，並與國際放射性廢棄物特性標準相關聯與一致。Nucleonics Week 16/3/06.

美國核管會核發PFS公司許可證

歷時9年，美國核能管制委員會（US Nuclear Regulatory Commission）核發為期20年的許可證給位於猶他州的私人燃料貯存公司(Private Fuel Storage，PFS)。PFS公司為一電力公司聯盟，其以堅固乾式貯存法處理4萬公噸用過核子燃料。場址土地為尋求地方發展的骷髏谷高夏特印地安人（Goshute Indians）所有，但在開始建造價值1.68億美元設施之前，進出與後勤的爭議有待解決。目前PFS公司提供能源部從2008年至雅卡山貯存場開始啓用前的使用權。此外，他們亦對能源部提出建議表示，使用該場址處理用過核子燃料的費用會比留在反應器場址內便宜很多。儘管燃料仍屬於各設施的客戶，但送給能源部的提議中表示，如1998年法規所要求，於反應器廠址取得燃料所有權後，並負責先移至PFS，最後再運往雅卡山。 Nuclear Fuel 27/2 & 27/3/06.

美國用過核子燃料工業的優先處理事項

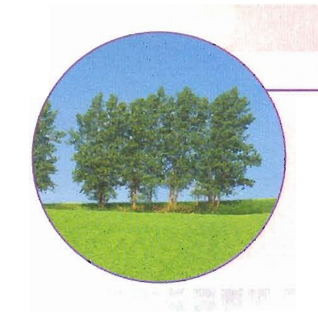
美國核能協會（NEI）提出與用過核子燃料及雅卡山貯存場相關的美國工業優先處理事項。該單位再次重申以下措施的重要性--加速用過核子燃料由反應器現場的貯存倉庫移往聯邦設施，並解除雅卡山貯存場7萬公噸的政治限制。他們也指出，在美國的核能發電量日益增加的情況下，對所有廢棄物處置，徵收每度電0.1美分的稅捐是相當恰當的。 NEI Nuclear Energy Overview 27/2/06.

俄羅斯重申燃料循環計畫

如其早先所標榜，並與美國全球核能夥伴計畫精神一致，俄羅斯原子能機關（Rosatom）負責人重申準備主辦4種國際核子燃料循環服務中心的決心。第1種服務中心是全球4、5座之一的鈾濃縮中心（不巧地提供了伊朗衆所周知其意圖的原料）；第2種是用過核子燃料的再處理與貯存中心；第3種是以符合國際標準，設定一致安全基準的國際聯合保安中心，並訓練/認證相關技術人員（尤其是新興核能國家）；第4種是研發並整合新的科學成果。NuclearRu 14/2/06.

法國繼續處置高放射性廢棄物

法國國會預計在4月，而參議院在隨後的5月或6月，投票表決核子物料及廢棄物處理計畫法案。此行動正式宣告深地層處置將成為高放射性與長壽命放射性廢棄物的參考解決方案，且預定2015年取得貯存場執照，2025年開始營運。此法案再次肯定用過核子燃料再處理，以及使用混合氧化物燃料（MOX）中的再循環鈽以「降低最終廢棄物量及毒性」的原則，並要求2020年以前建造第4代原型反應器以測試長壽命的錒系核種遷變。貯存場的成本預計約150億歐元，



包含40%的建造費、40%為營運100年的費用、以及20%的稅款和保險費等附加費用。該法案將為廢棄物管理與除役設立獨立資金，附屬於生產者，而不是外部基金。

該項法案與國家科學評估委員會（National Scientific Assessment Committee） 15年的研究結果建議大致相符。此份建議報告鑑定結果指出，Bure的黏土層是最佳的場址，但對於高放射性廢棄物的區隔與遷變存疑，且用過的混合氧化物燃料應做為未來快中子反應器的鈽源，所以需貯存備用，而非用以再循環或是視為廢棄物處理。

較早的一份國際評估團隊報告表示，對法國放射性廢棄物管理局（Andra）決定在Bure黏土層的深層地質處置計畫相當肯定。NuclearFuel 13/2 & 27/3/06, Nucleonics Week 16/3/06.

法國電廠除役市場欣欣向榮

法國電力署將於2010年前設置完成專用基金，以做為國內核能電廠自2035年起除役之用。目前該單位已為此握有250億歐元資金，期望在2010年時增為350億歐元。亞瑞華公司已以其未來負債提供資產擔保。 NuclearFuel 27/3/06。

中國大陸敲定下一座核能電廠

中國國家核能公司（China National Nuclear Corporation, CNNC）日前與大型設施中國華電集團公司（China Huadian Corporation）簽署協議，將在福建省建造惠安電廠首2部機組。這是中國大陸第11個5年計畫的一部分。中國國家核能公司將負責建造、營運該電廠，且持有此合資企業的大多數股權。其計畫在地質穩定的沿海地區建造總計6部反應器機組。

同時大陸國務院證實，大型的進步型壓水式反應器（PWR）與高溫氣冷式反應器（HTR）是未來15年的第一優先計畫。前者可能根據進度延後的三門-陽江電廠合約，並取決於「為掌握核能發電的國際先進技術，並發展中國第3代大型進步型壓水式反應器的中外合作情況」。而後者的高溫氣冷式反應器計畫以位於威海的200萬千瓦級的礫石床模塊式高溫氣冷反應器示範計畫開始，為「一整組」共18座的電廠做準備。CNNC 15 & 22/2/06, cf Newsletter #1/06.

日本新反應器開始商轉

北陸電力公司所屬的志賀核能電廠第2部機組於7月併聯發電加入運轉行列。此部機組為135.8萬千瓦級的進步型沸水式反應器，是日本第4部第3代的核能反應器機組。Mainichi 16/3/06.

2005年反應器變動

2005年，全球核能發電總容量總計增加了292.6萬千瓦。反應器狀態改變包括：日本東通核能電廠1號機（106.7萬千瓦）與志賀核能電廠2號機（135.8萬千瓦）併聯、印度Tarapur電廠4號機（49萬千瓦）及加拿大的Pickering電廠1號機（51.5萬千瓦）重新整修。開始加入商轉行列的有：日本的東通核電廠1號機、濱岡的5號機（138萬千瓦）以及南韓蔚珍核能電廠6號機（96萬千瓦）。關閉的有：德國的Obrigheim核能電廠（34萬千瓦）與瑞典Barseback核能電廠2號機（60.2萬千瓦）。開始建造的有：芬蘭Olkiluoto核能電廠3號機（160萬千瓦）、巴基斯坦Chashma核能電廠2號機（300萬千瓦）；另外因功率提升而增加的發電容量美國總計33.7萬千瓦、瑞典和芬蘭則各為2萬千瓦與8.1萬千瓦。UIC, March/April, 2006



沉穩內斂，工程師性格
—側寫台電董事長陳貴明

■編輯室

基層做起，專業管理

台電公司新任董事長陳貴明，民國37年生，清華大學核子工程學碩士，62年即進入台電原子動力處服務，歷任核能工程師、股長、核子燃料營運課課長、燃料處副處長、處長、副總經理、總經理等職。在95年2月前董事長黃營杉出任經濟部長後，暫代董事長至今真除。

陳董事長於93年8月11日由主管綜合企劃財會燃料副總經理升任總經理時，前經濟部長何美玥曾表示，由於國際燃料價格成本持續飆高，燃料採購成本控制將成為台電公司未來重要業務。未來核四廠問題也需要陳董事長的專業能力，加強溝通、協調，加上陳董事長的個性穩重、處事細膩，過去表現非常優秀，因此獲得高層的肯定。



陳董事長參與核二廠淨灘活動

在台電服務33年，陳董事長是台電首位學核工出身的董事長。不僅具有電力工程技術專業，也熟悉國際燃料業務。在燃料處服務期間，致力於採購制度的建立、主導澳洲班卡拉煤礦的投資、建立台電運煤船隊、開拓核子燃料供應來源等開創性業務，使台電獲得價格合理且供應穩定的各種燃料。

情勢險峻，任重道遠

陳董事長擔任燃料處長時間長達10年，對燃料採購業務十分內行，此次考量由內部升遷，不無「臨危授命」的意味，在高燃料價格的時代，台電營運績效的關鍵就在燃料。



陳貴明董事長

學歷
民國62年 國立清華大學核子工程學碩士
民國59年 國立清華大學核子工程學學士
主要經歷
民國93年 台電公司總經理
民國91年 台電公司副總經理
民國82年 台電公司燃料處處長
民國74年 台電公司燃料處副處長
民國70年 台電原子動力處核子燃料營運課課長
民國62年 台電公司原子動力處工程師、股長、課長

事蹟
民國94年 新五界隧道及栗栖溪引水計畫督導有方
民國92年 大潭天然氣採購節省鉅額費用督導有功
民國91年 督導推動煤場與電廠合併順利完成
民國91年 圓滿完成台電公司煤輪建造業務的各項作業
民國77年 購煤案仲裁勝訴，親自出庭辯論作證有功
民國75年 經濟部優秀人員
民國74年 辦理美國能源部鈾礦濃縮供應合約談判有功

最近台電深受高能源價格之苦，燃料支出激增，預估今年將虧損新台幣250億元，還有核四預算及工期問題相當棘手，堪稱是成立60年來最艱難的經營困境。陳董事長此時接掌台電，可說是任重而道遠。如何帶領台電走出困境，對陳董事長而言無疑是嚴苛的考驗。

INFORMATION



陳董事長參與元旦健走愛心接力活動

核工背景，科班出身

陳董事長在清華大學核子工程系所的6年學生生涯，除了獲取豐富的核子工程及相關知識外，進入台電核能部門服務後，為符合工作上所需，也接受了相當完整的核能領域的訓練，包括核子反應器的核心分析、核能電廠值班工程師，以及模擬反應器的運轉訓練等。在理論與實務經驗充分結合，並經過多年的工作歷練之後，陳董事長在核能領域方面，已深具紮實的功力。

2004年11月在台舉辦的第19屆台日核能安全研討會，當時陳總經理致詞時表示，台灣在推動輻射防護、核物料管制立法工作有顯著進步，在安全的條件下，提升核能電廠運轉績效創造核能價值，以及低放射性廢棄物最終處置、用過核子燃料再循環利用，均是台電將面臨的挑戰。台電未來將加強核能電廠及核設施保安措施，以因應核安新挑戰。

關懷社會，獻身公益

陳董事長在擔任總經理期間，即非常熱心於公益事業，曾代表台電公司捐贈2000本「一粒麥子落在後山—台東基督教醫院的故事」給國內醫學院學生代表，率先成為第一粒麥子。

陳總經理上台分享時，坦承好幾次在台下眼淚幾乎奪眶而出，面對這場真情至性的交流，他期許台電不只是一天、一時的感動，而是能把感動化為行動慢慢地聚沙成塔，持續提供溫暖，在照顧弱勢族群裡不缺席，希望以行動支持東基「為後山老人預備一個家」募款計畫。陳總經理語重心長地期許醫學院學生效法台東基督教醫院宣教士醫療奉獻的精神，未來能如一粒粒的麥子在台灣各個角落奉獻愛心。

台電的關懷事業已行之有年，陳董事長曾表示，從事社會關懷的公益活動已經是台電目前事業的一部分，不以提升企業形象為訴求，使得台電的付出遠超過大衆所看到的。他就是要讓在地人瞭解台電的用心，從心底認同台電，將台電當作好鄰居。

他指出，過去60年的時間裡，所有台電的前輩與同仁，不管刮風還是下雨，不管白天還是深夜，都為照亮台灣這塊土地而努力。雖然備極艱辛，但是，所有台電人絕不會停歇腳步。未來除了會繼續為台灣的電力建設努力外，還要用實際的行動展現台電實踐企業公民責任的決心。



在台大杜鵑花節中，陳董事長親自植樹響應

陳董事長由基層做起，有過直接面對客戶的經驗，因此能夠增加關懷事業的深度與廣度，更能貼近客戶的需求，把關懷融入台電經營理念中，並落實在實際作為上。而其務實的工程師性格，對台電關懷事業的發展影響著實不小。

台電公司自民國35年5月1日成立，一步一腳印，以企業化經營，至今堂堂邁進第60年。企業不但要會賺錢，還要對社會有所貢獻，又須注重保護環境才能算是「好公司」。以陳董事長一貫對於地區社會和環境的責任，應可帶領台電公司成為優秀的「企業公民」，善盡企業的社會責任，以爭取用戶及社會的信任。



學習、效法大自然的核能（上）

藤家洋一 著
劉姿君 謝牧謙 譯

學習、效法自然的核能

今天非常感謝主辦單位的邀請，本人感到十分榮幸。日本於1952年開始發展核能，並隨即於東海村建設核能設施，相關研發就此蓬勃展開。當時還是大學生的我也曾造訪東海村，並且深深感受到日本已朝未來邁開腳步，但我當時萬萬沒想到日後自己也會成為核能專家。日本社會中有部分學者抱持著一些不可思議的看法，認為研究原子核是「善」事，而研究核能則因牽涉到核武的開發，卻被視為是「惡」事。

日本晉身為核能國家已將近半個世紀。儘管其間遭遇各種困難，核能發電仍已成為日本的基載電力，高居日本的能源自給率首位。此外，輻射在醫療方面的應用等也與社會越來越密切。然而，要談論核能畢竟是很困難的，因為，我們無法從日常生活中感受到核能。

核能是什麼？今天，為了讓大家更接近核能、體驗核能，我想從仰望星空開始談起。

今天我想以較為特別的方式，經由介紹自然來透視核能，所以接下來先為大家做個事前準備。

一般認為，人類的感官能力有五種：
眼—視覺
耳—聽覺
鼻—嗅覺
舌—味覺
膚—觸覺
讓我們再加上第六感。

有些人的第六感相當發達。我認為，第六感絕不是怪力亂神的東西，而是建立在智慧與見聞之上的靈感。

今天就以「視覺」與「第六感」為中心來談。我之所以將「視覺」視為感覺的中心，是因為自然是由「看」開始的。舊約聖經創世紀裡描寫神創造宇宙的第一天，神說：「要有光」，讓光來到了這個世界，區分了白晝與黑夜。這麼做，是為了要讓人類以視覺來認識這個世界吧！

「百聞不如一見」這句話，說明視覺比聽覺重要。人們在看了之後，才開始思考。一般認為看得見的東西就是看得見，看不見的就是看不見。但是在科技的世界，向來就是設法去看到看不見的東西。核能就是眼睛看不見的科技。開拓肉眼所看不見的世界——核能潛存於極細微的世界，但其中所擁有的能量卻是以宇宙規模在發展。現在就讓我們來想想原子的大小吧！原子的大小是10^{-10}公尺，也就是把1公分對分成一半，再分成一半，這樣的動作重複10次之後，長度大約是1000分之1公分。再重複10次，就成了100百萬分之1。將它分成一半，又再重複6、7次，這樣的大小就跟原子差不多。也就是必須重複26次。1公分、1公釐肉眼都看得到，但是重複26次之後還看得到嗎？所以這是近還是遠呢？感覺可能見仁見智吧。不過，現代科學卻能



夠以電子顯微鏡看到這個大小。

● 與地球息息相關的自然與人類：太陽與地球的合作（圖1）

現代的文明建立在化學反應之上，這一點每個人都能理解並切身感受到。或許有人因為習以為常，所以從未思考過，要向這些人說明核能也無從說起。我們至少必須主動去思考、理解文明背後是由什麼來支撐的，否則無法理解這個被核能（即核反應）所支配的世界。

核反應，也就是核能，是支配宇宙現象的能量。在地球上，由化學能量，即化學反應所支配的文明，從人類發現火並開始利用火以來，便持續至今，尤其是工業革命之後更為顯著。其中，植物發揮功能，在地表上將太陽的能量轉化為化學能量，並加以儲存。太陽與地球合作無間，使人類得到易於使用的化學能量。最近，這些能量被稱為生質能源（biomass energy）或化石能源。簡單地說，便是植物利用葉綠素，將二氧化碳與水製作成葡萄糖，繼而再創造出胺基酸和蛋白質等高分子的化合物。這些能源加上動物，整個便形成一個以物質形態循環的生態圈。在地球上將太陽能加以利用後，排放到宇宙中。同時，由植物的觀點來看，被視為廢棄物的化學能源以化石能源的形態埋藏在地底。所謂的工業革命，就是由利用該化石能源之一的煤開始的。

曾經思考過化學反應的文明的人，都知道拿火柴點火，可以使很多東西燃燒起來。一方面火正是證明化學反應的發生，另一方面，他們也知道石油文明這個字眼的意義。石油文明的意義並不是單指能源的供給，更提供我們許多的東西，例如尼龍、塑膠等等都是其中之一。

而更進一步，我們能夠理解到，地球上的森羅萬象都是在太陽與地球的合作之下成立的。無論是颱風、下雨、動植物的生長都不例外（圖2）。在此雖說太陽與地球合作無間，但太陽上究竟發生了什麼事，光是用看的是看不出什麼名

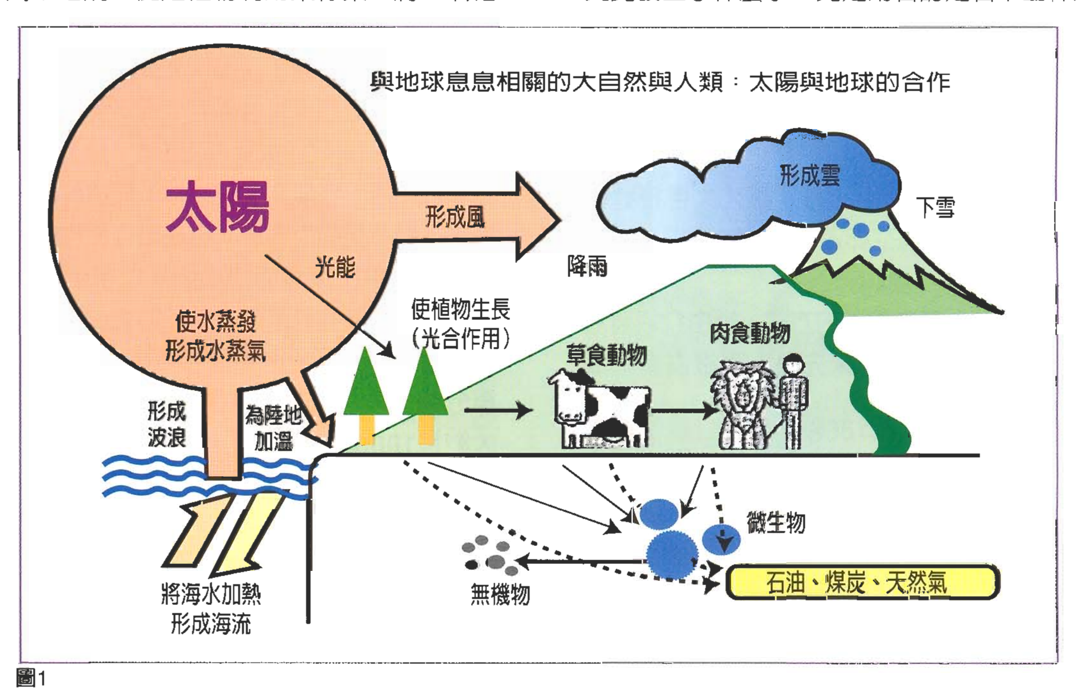


圖1

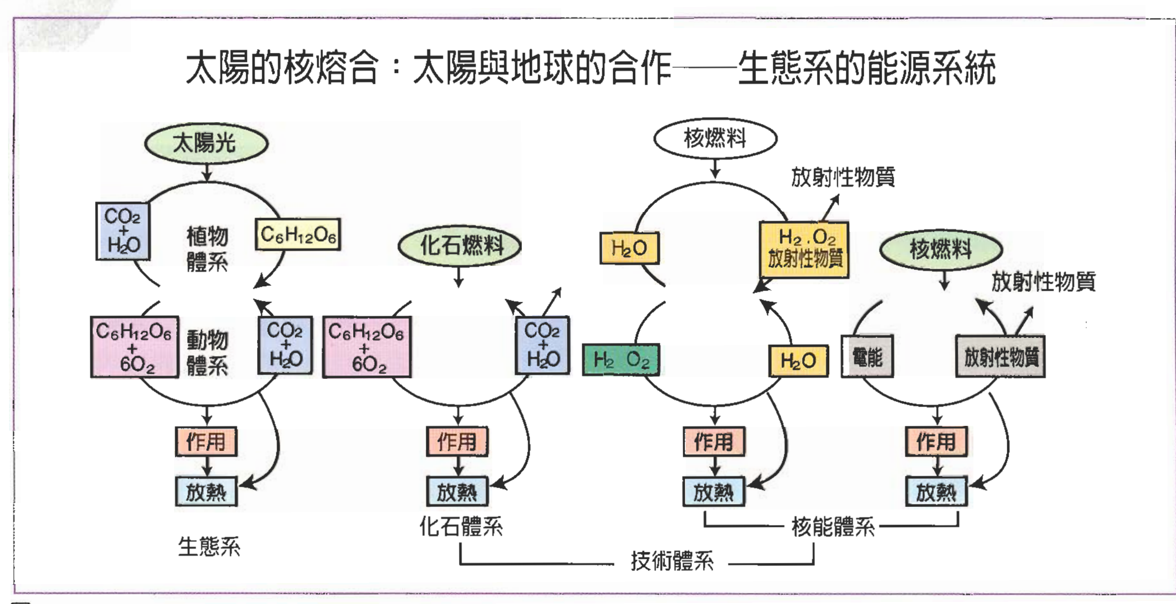


圖2

堂的。想解開這個謎要花很長的一段時間，究竟太陽上發生了什麼事，回頭再來說明。

遠處的星空：超新星爆炸代表了什麼？

日本老牌歌星坂本九有一首歌叫作「仰望夜晚的星空」（見上げてごらん夜の星を），讓我們也從仰望星空開始。這首歌的歌詞裡寫著「微微的光」，也說明了光是從天空來的。宇宙的資訊就是由光和宇宙射線帶來的。白天的天空並不會引起人們的想像，而夜晚則引人遐思，讓視覺與第六感聯手發生作用。

圖3是夜晚的星空，同時也是超新星爆炸的樣子。說到超新星爆炸，西元1054年金牛座附近發生的超新星爆炸，被日本鎌倉前期的歌聖藤原定家視為傳聞，但他仍將這件事記載在他的明月記裡。

明月記

「超新星的例子出現於1054年4月中旬之後，午夜1時至3時之間，地點在獵戶座的3顆星處，可見於東方，於金牛座的zeta星附近發光，亮度與木星相當。」

觀察星象在美索不達米亞與希臘分別發展為占星術和天文學，當時人們已可預測日蝕。進入文藝復興期後，由於望遠鏡的發明，使人們得以對空中的星星加以觀測，伽利略（G. Galileo）的地動說、克卜勒（J. Kepler）的「行星軌道」均奠基於此。



超新星爆炸

東京大學設於日本岐阜縣神岡礦山地底的設備，於1987年2月23日測出距地球約18萬光年的大麥哲倫星雲發生的超新星爆炸（照片右下角）所釋放出的微中子。

圖3



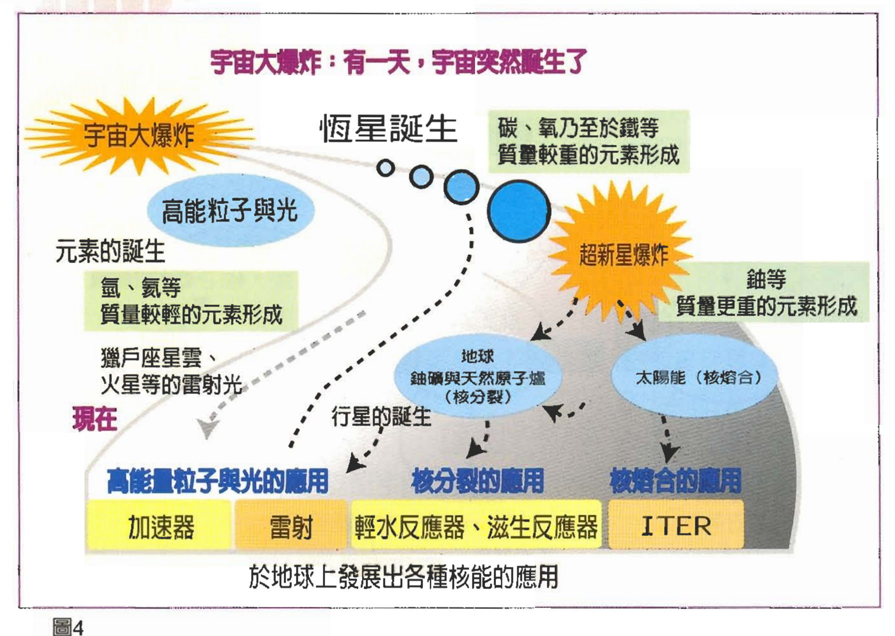


圖4

既然提到地動說，我就來說個小插曲。一般社會花了超過1世紀的時間才接受了地動說。因為地動說不符合當時的社會觀念，尤其得不到天主教的認同。就連有托斯卡納大公支持的伽利略，也於宗教審判中敗訴，被軟禁於翡冷翠郊外。

核能的際遇也差不多，有人認為鈽是人造元素，因此批判不該有人為的操縱。事實上，地球誕生時曾出現過大量的鈽，但現在在自然界中幾乎看不到。這件事，我們稍後再談。

宇宙大爆炸：有一天，宇宙突然誕生了

接下來，我們「總算」要談到宇宙了。在這裡，時間和空間攪和成一團。現在，我們以一張圖來看宇宙。圖4中包含了好幾個訊息，首先是宇宙創造。

大約137億年前，一個具有無限能量的無限小的粒子突然呈現不穩定的狀態，開始膨脹。我們對時間似乎知之甚詳，其實這是最近才由名古屋大學的團隊推算出來的宇宙年齡。從那個時候開始有宇宙，也誕生了時間、空間和物質。在那之前的事，尚屬未知。--如果有小朋友問起那之前的事，我也無從回答起。還有，假使有人問我宇宙有盡頭嗎？我也答不上來--頂多也只能說，假設現在以光來探索宇宙的盡頭，等光反射回來，已經是幾十億年以後的事了，到時候人類恐怕早已絕種，已成為過去的存在，所以探索宇宙的盡頭並沒有意義。

明知科學上不可能而去挑戰，是一件沒有意義的事，但挑戰任何的可能性，卻是以科學立國為目標的日本必須具備的基本態度。

首先提出宇宙大爆炸的概念的是俄裔物理學家喬治．加莫夫（George Gamow），據說他是在參加曼哈頓計畫（Manhattan Project）時，看到原子彈試爆的火球，而想像出宇宙誕生的形象。同時他也提倡太陽能是來自核熔合反應。--這顯然要歸功於他的第六感的靈感。

恆星的誕生與元素的形成

宇宙形成時溫度之高，實非筆墨所能形容。在高溫狀態下，經過放射線交錯飛撞的膨脹過程之後，逐漸冷卻下來。現在，宇宙的溫度維持在絕對溫度2度左右，相當地冷。只有在星星

內部有核反應發生，呈高溫狀態，並釋放出能量。

讓我們省略夸克(Quark)及反粒子這些有趣的討論，氫、氦等基本粒子就是在膨脹的過程中產生的。這些基本粒子聚集成星星，其中又逐漸形成較重的元素，但是，比鐵還重的元素卻沒有在星星中形成。這是因為吸熱反應使得創造元素的能量不足的關係。關於這個故事，我們可以用簡單的式子計算出來。

● 超新星爆炸

星星越大越亮，燃燒的速度越快，最後會使得重力失衡而以最光輝燦爛的方式結束它的一生，這就叫作超新星爆炸。超新星爆炸會釋放出巨大無比的能量，就算把太陽過去所釋放的所有能量加起來，也無法與之相提並論。超新星爆炸會把所有的東西都炸飛掉。

重力失衡會使質子吸收電子，形成中子，而其結果中子開始誕生豐富的元素。比鐵更重的金、銀、鈾等元素，都是集重力的能量而產生，並向周圍釋放。光是1個方糖大小的重量，就相當於一座富士山，大家相信嗎？

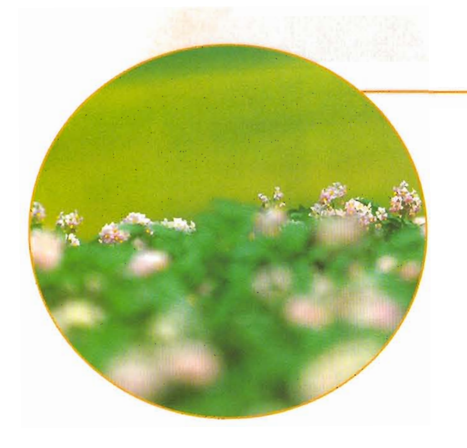
相較之下，太陽的質量太小，不會發生超新星爆炸。相反的，在燃燒的過程中，中心的燃料會越來越少，於是燃燒的區域便會逐漸外移。同時，太陽會逐漸膨脹，最後連地球都被吸進去。這麼一來，地球萬物便會付之一炬。到時候，人類要逃到哪個天體去呢？想來大規模的移民政策是少不了的，還得準備無數的宇宙船和避難糧食。

現在我們明白，比鐵更重的元素如鈾等，是因超新星爆炸而形成的，但是同時也會有許多粒子被釋放到宇宙空間裡，這就是宇宙射線的起源。像這類被高速加速的宇宙射線，會被宇宙的電場與磁場改變行進方向與速度。這些物理現象過去一直被應用在加速器的原理與製作上。

最近，雷射的應用也有相當耀眼的表現，如用於白內障的治療等。像這類現代科學的精華，其實早就在天體現象中觀測到了。火星和金星周圍不僅有雷射，還觀測出脈射（maser）現象。這已經相當令人吃驚了，但更驚人的是，原來核熔合反應器與核分裂反應器在人類集科學之大成發明出來之前，早已存在於自然界中。核熔合反應是發生在恆星中的核能，而核分裂反應經證實，距今20億年前便已存在於地球上，被稱為行星的核能。前者是利用質量輕的原子核所產生的核能，後者利用的則是鈾之類質量重的原子核分裂產生的核能。

正如我剛才所舉的例子，核熔合反應器、核分裂反應器、加速器、雷射等，每一項都存在於自然界、存在於宇宙之中。以學習、效法大自然為基礎的核反應，是支配人類未來文明的關鍵，所以創造能夠支持未來文明的科技至關重要。這絕不表示由化學反應所支配的文明已走到盡頭，而是意味著人類將在解決目前面臨的環境問題、能源問題的同時，邁向更高度的文明。（下期待續）

"自然に學び自然を真似る原子力(その一)" 原著刊登於「放射線安全管理系總合情報誌」，2005年10月No.346。(その二)刊登於同年11月No.347。
另譯者謝牧謙教授於2005年11月15日出席於日本廣島舉行的第20屆台日核安研討會時亦由著者藤家洋一先生贈送原版書（日本ERC出版，2005年6月25日初版）一冊。作者經由觀察大自然來剖析核能的起源，對讀者想要進一步瞭解核能甚有助益。



美國公眾對核能表達強烈支持

洪國鈞 譯

美國星座發電集團（Constellation Generation Group）總裁華勒斯（Michael Wallace）於2005年11月14日表示：此刻是幾十年來第一次，管制單位、國會、核能工業界與大眾站在同一陣線支持核能發電，提供了一個絕佳的機會帶起新一波美國核能電廠興建的潮流。

華勒斯也表示，如果核能工業界要安置新的反應器，並趕在2015年時營運的話，現在才起步已經晚了5年。

華勒斯在美洲核能協會（American Nuclear Society，ANS）冬季研討會的開幕演講中評估，在2015年至2025年間必須增加超過100座的核能機組以因應電力的成長需求。

華勒斯稱能源政策法案的通過為「關鍵性的事件」，有助於電力公司考慮選購核能機組。他亦將此歸功於美國布希總統2005年6月22日參訪星座集團的卡佛特．克里夫特（Calvert Cliffs）核能電廠，加速了法案中核能條款的通過。

他指出星座集團與其他6家公司－多明尼恩（Dominion）、杜克（Duke）、安特基（Entergy）、艾塞隆（Exelon）、進步能源（Progress Energy）、南部電力公司（Southern Company）與田納西河谷管理局（Tennessee Valley Authority，TVA）－正「加快腳步」向美國核能管制委員會（NRC）申請建廠-營運執照（construction permit-operating license，COL）。

他說：「現在正是美國興建新核能電廠的好時機」。

亞瑞華（Areva）公司執行總監克里斯多福（Thomas Christopher）在同一研討會的專題中也表示，這幾年間美國核能工業界已從規畫反應器除役邁入核電新成長的階段。

該研討會的主講人，參議員哈吉爾（Chuck Hagel）（共和黨，內布拉斯加州）說，核能工業界正處於一個「充滿機會的黃金時代」上。

哈吉爾長期支持核能工業與核子科技，他特別強調若不討論能源與環境議題，則解決氣候變遷問題是絕無可能的。他發起的氣候變遷法案包含在能源政策之中，已於2005年8月簽署完成立法。他說，不會排放溫室氣體的核能電廠必定在美國新建的發電廠中占有一席之地。

哈吉爾說，在他的家鄉有兩座核能電廠。一座是位於內布拉斯加公共電力區的庫伯電廠(Cooper)，另一座則是奧瑪哈公共電力區的佛特．卡弘恩電廠(Fort Calhoun)。這兩座電廠提供了近30%的電力。

環境學家派崔克．摩爾（Patrick Moore）表示，相信使用再生能源與能源節約可以完全地替代核能與石化燃料能源是不切實際的，一些環境學家對此觀點也始終爭議不斷。摩爾是綠色和平組織的共同創立者，並自詡為「重生的生態學家」，他聲稱核能、地熱與再生能源的擴張將可

以協助終止電力消費的「碳循環」。

摩爾說，在綠色和平組織15年後，他決定改變反對核電的立場，轉為與其共謀解決之道。

他對氫能汽車能減少運輸事業上對石油依賴的前景深具信心，然而要在短時間內量產仍面臨許多的阻礙。他評估後認為需要200至300座的核能電廠作為專門生產氫氣用，才能推動今後以氫能為基礎的運輸系統。而他這席結論獲得全場起立鼓掌的殊榮。

民意支持

民意研究學者蓓絲康媞（Ann Stouffer Bisconti）如此表示：一項最近的調查顯示，核能電廠的接受度達到歷史高峰，此乃核能工業界相關調查中22年來前所未見的。

蓓絲康媞研究公司總裁蓓絲康媞表示，該公司於2005年8月接受核能協會（Nuclear Energy Institute，NEI）委託主導的民意調查顯示，居住在核能電廠10英哩內，且沒有在電力公司相關事業工作的民眾，有87%的民眾支持核能發電。

她在美洲核能協會研討會的簡報中提到，在上述的調查對象當中，僅3%的民眾反映出對增加核能發電的反對態度。

她另外提到，在一份於2005年初所進行的民意調查裡，調查對象並未針對居住於核能機組附近的民眾，而這項調查顯示有70%的民眾贊同核能發電。她表示，首次見到這類民意調查支持度有如此高的水準，而本次調查的誤差為正負3%。

「電廠附近的居民針對與核為鄰很明顯地給予正面肯定」，蓓絲康媞特別針對新建核能機組提出上述的看法。她把民眾對於核能支持度的上升，部分歸因於美國核能發電機組整體運轉安全的進步，以及意識到新基載發電容量需求的提升。此外，核能協會的「品牌建立運動」使民眾更認同核能發電的好處，也強化了核能在潔淨空氣、資訊提供能力與可靠度方面的優勢。

蓓絲康媞敦促各公司盡可能地將核能「品牌化」。她同時也建議核能工業界應討論（美國）核能管制委員會在檢查與監督核子設施上的角色，她並稱管制單位的職責是「最高機密」。

星座集團總裁華勒斯也表贊同，並在演說中提到：「（美國）核能管制委員會是一個強悍的管制單位，而我們需要把他們的秘密挖出來。」



INFORMATION

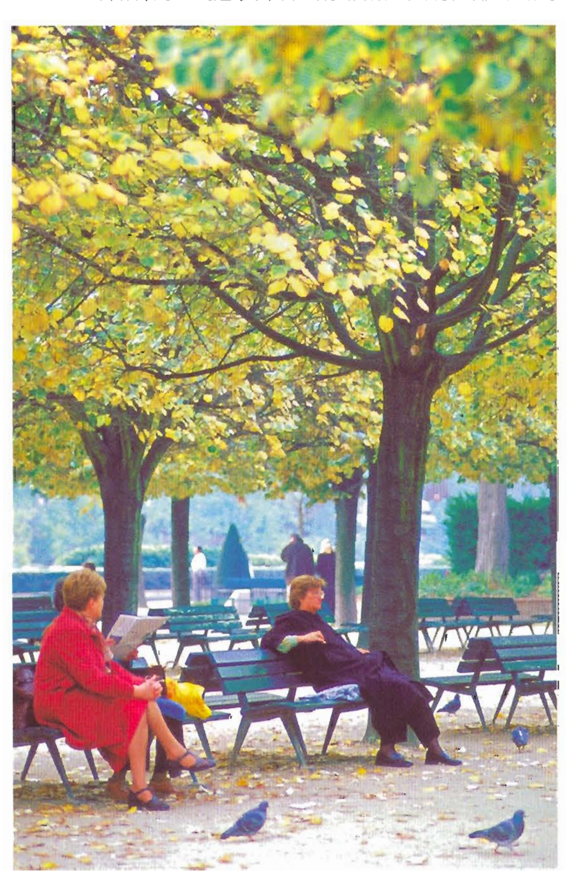


蓓絲康媞提及核能的流行已經達到一個高峰，甚至在通俗的流行雜誌上都占有篇幅。在2005年9月號「她」（ELLE，知名的女性時尚雜誌，亦有中文版）雜誌中，核能名列年度特選「秋天25件酷玩意」的第14名。

電廠財務

雷姆兄弟（Lehman Brothers）銀行投資部主管亞索斯汀（James Asselstine）表示，金融界認為核能的優勢是燃料成本較低且穩定，且「排放極少的溫室氣體」，但是投資者卻有「額外」的考量，好比放射性廢棄物處理、核能安全議題、電廠大停機以及機組老化產生的問題。

亞索斯汀也提及潛在的執照申請與纏訟問題也是考量之一，華勒斯也呼應了這項觀點，他說管制單位的不確定性將是「挑戰之所在」，華勒斯強調建廠-營運執照的程序尚未經過驗證。



身為前（美國）核能管制委員會的委員亞索斯汀表示，針對新核能機組的財務狀況，投資者會考量到高額的初期投資成本以及投資報酬率。由於未來新建的幾個機組將成為演化模型，現在大部分的投資者對於「技術風險」已經較能釋懷。

然而亞索斯汀也表示新核能發電機組「其成本必須能與其他替代的機組發電競爭」，特別是燃煤機組。

他描述了3個類似今日商業與管制環境的金融模型。電廠的財源可能是來自法制化的公用事業計畫、非法制化的商用發電公司計畫，或是「無追索權」的融資專案，即單一目的的金融實體。然而，前兩種模型似乎更適合新建電廠。而亞索斯汀回答研討會出席者的問題時表示，其公司並未觀察新機組的國際金融模型，然而興建新機組的方向應有獲利的可能。

亞索斯汀表示，財務誘因與其他新能源政策法的規定--包含聯邦貸款保證、生產稅減免、預備風險保險、供資給（美國）能源部的核能發電2010計畫，以及普萊斯．安德生法案（Price Anderson Act）對核能責任保護延長至20年等措施仍無法提供「抵抗所有風險的安全網」。然而，以上措施卻提供了新核能電廠的「地基」，在未來的幾個月，發展設廠管制的法規會變得很重要，他表示，能源部將會在2月初進行法規的制定。

（本文取材自Nucleonics Week, Vol.46/No.46/Nov. 17, 2005）



車諾比爾核能電廠事故 20年回顧

■ 編輯室

1986年4月26日位於烏克蘭的車諾比爾核能電廠，發生核能工業史上最嚴重的輻射事故，放射性污染擴及白俄羅斯、俄羅斯及烏克蘭等國。今（2006）年4月26日事故屆滿20年，聯合國所屬相關機構及受影響的3個國家已就健康、環境及社會經濟層面進行檢討回顧。

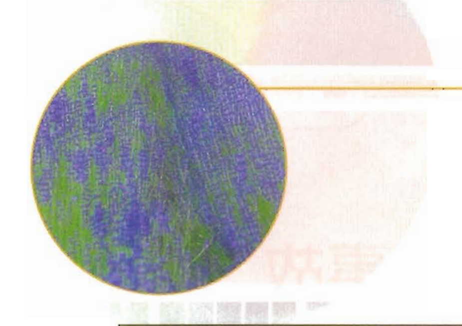
由國際原子能總署、世界衛生組織及其他聯合國機構所召集的專家小組（又稱車諾比爾論壇），根據該論壇2005年提出的報告，事故發生第1日，約有1000名救災人員及現場工作人員接受到很高的輻射劑量。截至2005年，只有不到50人是直接因事故的輻射而死亡。死者幾乎都是受到高劑量曝露的救災人員，多數是在事故發生後數個月內死亡，但也有遲至2004年才死亡。

事故之後，總共投入了約60萬名緊急應變與復原工作人員。雖然有些人在工作時接受較高輻射劑量，但許多工作人員及大部分白俄羅斯、俄羅斯及烏克蘭污染區域的居民（超過5百萬人），只接受到較背景輻射還低的全身劑量。這些受影響的群體中，並未發現有生育能力降低的證據或可能性，也沒有任何可歸責於輻射曝露引起增加先天異常的證據。事故發生後政府當局採取了包括疏散污染最嚴重區域民眾的減緩措施，大大的減低事故造成的輻射曝露及輻射連帶的健康影響。

事故的主要健康衝擊之一是放射性碘落塵造成的孩童甲狀腺癌，在事故發生後的前幾個月內，孩子如果喝到含高濃度放射性碘的牛奶，甲狀腺就會接受到輻射劑量。至目前為止，在受影響最嚴重的國家當中，診斷發現的甲狀腺癌患者約有5000例，主要是事故當時的兒童及青少年，且大部分的患者幾乎都可以歸因於放射性碘的攝取。患者中至少已有9名兒童死亡，然而以白俄羅斯的經驗，甲狀腺癌患者的存活率已達99%。在受影響最大的群體中，除了兒童青少年時期的輻射曝露大幅增加甲狀腺癌發生率外，並未顯示實體癌或白血病發生率有增加的情形。然而由於受影響群體對輻射效應資訊的不足，卻有心理問題增加的情形，又伴隨著蘇聯的瓦解，造成社會動盪經濟蕭條，情形又更加惡化。

想要精準地估算出因車諾比爾事故輻射曝露引發致死癌的數目，或者事故所造成壓力與焦慮的實際衝擊，是相當困難的工作，原因是一個對於輻射風險假設的很小差異，就可能導致對健康影響預估的巨大差別。一個由100多位科學家組成的國際專家團，已初步估算事故可能造成的健康影響，同時協助規劃將來公衆健康資源的分配。該項估算以受到最嚴重曝露的群體為對象，在10萬個死於一般致死癌症案例中，預測最終可能增加數千個死於輻射引發的癌症案例，比例約為數個百分點；但是即使進行非常詳細的長期流行病學調查，這種增加幅度仍然很難察覺。

自1986年該事故發生以來，由於大自然的循環代謝，以及人為採取的相關因應措施，致原先受影響的區域，其輻射值已經降低數百倍。時至今日，大部分曾受核種污染的地區，已可安全地居住及從事經濟活動。目前受污染的白俄羅斯、俄羅斯、烏克蘭境內，估計仍有5百萬人居住，其中約10萬人居住在過去被政府歸類為嚴格



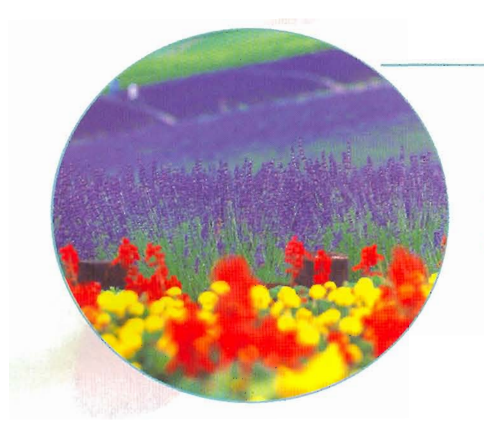
烏克蘭車諾比爾核能電廠4號機

管制的區域，此一「分區」定義，由於新的調查結果產生，必須再加以檢視與放鬆。基本上目前並未發現事故對其他周圍區域民衆有深遠的負面健康影響，也沒有發現廣泛的污染會繼續造成人體健康的實質威脅。但是有一些例外，對於「車諾比爾限制區(Chernobyl Exclusion Zone)」及其他限制區域，土地使用限制仍將持續數十年。

受影響區域居民對於輻射的威脅，一直抱持著無事實根據論點及錯誤觀念，造成一種麻痺性的宿命論，加上蔓延著貧窮與精神健康的問題，其對於地方社區所造成的威脅，實際上已遠大於輻射曝露的健康效應。因此，在白俄羅斯、俄羅斯及烏克蘭的受影響地區，社會經濟的復原與去除一般社會大衆、緊急工作人員的心理負擔，必須是首要工作。對於烏克蘭而言，先前建造來容納損毀反應器的結構體已經出現剝蝕，有崩塌並釋出輻射的危機，因此將損毀的車諾比爾4號機除役，包括安全地管理放射性廢棄物，將是最優先的工作。此外，事故對環境、健康及社會產生影響的研究，也應長期進行。

資料來源：

1. Chernobyl's Legacy, The Chernobyl Forum:2003-2005(Second revised version), IAEA
2. Chernobyl: The True Scale of the Accident, Press Release of IAEA,WHO, and UNDP, Sep. 5, 2005
3. World Health Organization Report Explains the Health Impacts of the World's Worst-ever Civil Nuclear Accident, News Release WHO/20, Apr. 13, 2006



重新思考核燃料循環

翁雅慧 譯

在歷經半個世紀的使用後，核能發電提供乾淨能源的角色日益重要。但為了防止核子武器擴散，各界正重新評估核能發電的實際應用情形與推演各種假設情況。自1970年起開始推動的核子武器非擴散條約(NPT)，在防止核武擴散方面的確有不少成果，但如伊朗之諸多政治問題及新挑戰紛至沓來，提醒了我們由核子燃料循環達到內部的禁核武擴散才是及時的作法。

2005年7月國際原子能總署(IAEA)在莫斯科主辦了一場會議，會中主要議題是討論以跨國技術與組織化的方式，強化禁核武擴散。會議中亦重新檢視一些以前認為過於困難、沒有實際需要的構想[1]，並且加以徹底討論、進行修正。與會者一致同意，核武不擴散其實和核子燃料供應、服務的穩定度互為表裡。但是此結論卻引發此問題一原子能總署是否應主導/協調跨國行動，以保障善意使用者的核子燃料供應及服務，減低各國自行發展當地核子燃料循環設施的誘因。

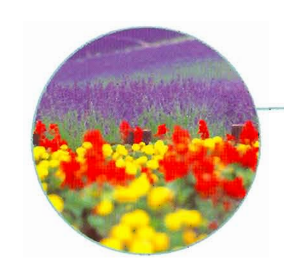
由國際原子能總署署長艾巴拉迪主導的回顧報告中指出，有必要強化鈾濃縮及鈽分離的控管。他表示：「我們應該很清楚，在加強控管核子燃料循環以及擴大核能和平用途之間並無矛盾。實際上，藉由降低核武擴展風險，我們可以為更廣泛的核能和平用途鋪路。」這段話呼應了1970年核子武器非擴散條約的精神，並且引起2005年10月底聯合國大會的注意。「跨國技術合作的方式可以提供核能安全、防禦與經濟方面額外的優勢，也可以阻擋個別國家〝自製〞的趨勢」，他說[2]。

由原能署召集的專家小組提議下列幾種方法：

- 透過長期合約，例如燃料租賃及用過燃料的回收、貯存與處置，以加強現有的商業市場機制。
- 透過國際原能署的參與，發展/實施國際間供應保證，例如由原能署擔任燃料銀行的管理者。
- 鼓勵包括未簽訂核子武器非擴散條約的國家，自願將現有的設備轉換為跨國監控。
- 以共同擁有權為基礎，對核子燃料的濃縮、再處理及用過核子燃料，建立新的跨國性、區域性設備。

燃料租賃可能由主要核子燃料供應國，如加拿大和澳洲主導，或由反應器廠商推動做為硬體配套的延伸。如目前俄羅斯與伊朗合作建造的Bushehr核能電廠，即排除了伊朗對燃料循環設備的需求。國際原能署以及政府的支持，均是使燃料租賃可被廣泛接受的重要因素。

前述的莫斯科會議重點之一是討論第4代反應器系統。此系統含有作為封閉式燃料循環一部分、完整的錒系元素。[3]這種系統沒有現今使用燃料的長壽命特性，產生的分裂產物廢棄物非常微量，並有高度的抗核擴散現象。[4]「古典的」燃料循環是以鈽鈾萃取法回收鈽，再加入混合氧化物燃料(MOX)中，並沒有固有的抗擴散功能。



國際原子能總署的保防機制已經成功地防止改變核能使用方向，而欲發展核武則對商用的鈽(反應器等級)興趣缺缺，但包括鈽的所有錒系元素燃燒更完全為其優點。

出自於對鈽的疑慮，之前美國卡特總統禁止再處理用過核子燃料。但這幾年來出現了新的再處理技術。此技術不需將鈽自鈾中分離出來，它把其他錒系元素與分裂產物分離，使得錒系元素可以再燃燒。[5] 美國2006年的預算中，「用過核子燃料再循環設施整合計畫」與另一項快反應器方案即占了5,000萬美元，兩者顯然將成為主要預算支出項目。儘管如同其他地區的再處理，計畫的大部分是減少高放射性廢棄物的體積與簡化其處置，其與排除廢棄物貯存場（例如雅卡山 Yacca Mountain）做為未來鈽礦場的可能性也很有關聯。

從短期內看來，高溫氦冷卻式反應器可以讓從鈾與分裂產物中分離出來的錒系元素（包括鈽）更完全燃燒。美國General Atomics公司聲稱，以這種方式可以使鈾產生的能量增加3倍，而更完全燃燒可使錒系元素的數量減少10倍。

先進核子燃料循環與新世代核反應器的科學發展，可能會帶領即將興建的輕水式反應器，及現有輕水式反應器用過的核子燃料走向不同的命運。對有些國家而言，在新核子燃料循環中，先貯存輕水式反應器燃料、然後做核子燃料再利用是相當具有吸引力的部分。許多國家的廢棄物管理計畫上也反映了對於用過核子燃料態度上的轉變，提供了燃料租賃的契機。目前有些預定作為最終處理場的貯存設施，實際上也只是做為暫時貯存場，存放終將被回收再處理的用過核子燃料。對某些國家而言，把長期貯存服務的供應與燃料再處理與再生服務相連結，固然會有一定程度的吸引力，然而也有些國家寧願繼續以原來的方式處置用過核子燃料。

同時，為了保證核子武器非擴散條約保護機制的完整性與有效性，個別國家與國際原子能總署間有必要普遍施行安全保護協議的「附加條款」[6]。條款的實施授予國際原子能總署更廣泛的監督權，並鞏固核子武器非擴散條約的保護機制。此外，在信心與信用不足的案例中，需要附加的特別措施。

1 指1980年的國際核子燃料循環評估研究報告(International Nuclear Fuel Cycle Evaluation Study, INFCE)

2 見於Newsletter #6/03較早的評論。

3 錒系元素－反應器核心的鈾捕獲中子後，直接或間接形成的重元素－通常具有非常長的半化期。除了容易分裂的鈾及鈽的同位素外，一般不是燃料，但在快中子反應器中會產生某些能量。

4 鈽鈾萃取(Purex)法將鈽從鈾及錒系元素及分裂產物中分離出來，美國Urex法只能單獨分離出鈾，而把鈽與錒系元素以共同存在的方式，自短半化期的分裂產物中分離出來。

5 將用過燃料再處理而回收的鈾，基本上是未濃縮的。

6 在63個具核子活動但為非核武國家中，只有55個國家已簽署或通過「附加條款」。

IAEA 13/7/05 (including MNA report), 7/11/05, Arius Newsletter #11 October 2005, NuclearFuel 21/11/05.



日本核子燃料循環服務不該自掃門前雪

■ 鈽季刊編者
編輯室 譯

日本核能電廠在2005年12月時數量已達54座，總裝置發電容量為482.2億瓦，發電比例占國內約30%餘。次於美國及法國，日本為世界第3大核能發電國家。毫無例外的，日本的核能電廠面臨過各種挑戰，電力公司也努力達成各種艱困任務。每次只要想到他們如何一路披荊斬棘走過來時，千言萬語也訴不盡我的心情。在此向所有電力公司努力的員工們表達誠摯的敬意。

在廣島長崎原子彈事件9年後的1954年時，日本國會先於政府做出投入2.35億日圓作為核能發展用途預算的決定，因此便開啓了核能和平用途研究之門。能源短缺是日本投入第二次世界大戰的主因之一。國會此舉目的在舒緩能源短缺，並且儘可能的提高國內自有能源的比率。歷經了第一及第二次石油危機之後，日本能源政策的正確性更加確立，政策並且持續到今日。我們要再度的向當時政治界及財經界的領導人物致謝。

最初提倡使用核能發電時的考量，是如何有效率地使用鈾資源。由於鈾是珍貴的進口燃料，若能將鈾做最大利用，會是核能發展的極大優勢。因此，現在核子反應器的主流機種是輕水式反應器（LWRs）。另一方面，各界也大力推廣快滋生反應器（FBR）的研發與核子燃料循環設備。這一切都在青森縣六個所村開始營運商用濃縮鈾燃料廠時開花結果；而用過核子燃料再處理廠目前已進入最後測試階段。混合氧化物燃料（MOX）製造廠的興建已計畫與燃料再處理廠營運同步進行。照目前情勢看來，核子燃料循環事業前景可期。

2005年石油價格飆漲、價格居高不下的情勢證明了核能發電的有效性，以及核子燃料循環在能源穩定供應中扮演的重要角色。兩年前，某些經濟產業部官員曾建議，不需要再花19兆日圓購置核能燃料循環設備。對於某些政府官員的短視，我們只能表示非常遺憾。

目前日本核能發電的重要課題為高放射性







廢棄物場址的選擇，和快滋生反應器的實際應用。我們非常期待快滋生反應器在實際使用上的表現。

日本沒有能力提供鈾原料給外國，但如果真的有需要的話，我們可以提供濃縮鈾及鈾燃料製造的服務。除此之外，用過核子燃料再處理及混合氧化物燃料製造產業也應該被視為國際化的未來產業。那些開發中、尚未使用核能發電做為供電來源的國家，在考量經濟成長及防範地球暖化時，應該會大力推廣核能發電。身為先進核能國家的日本，責無旁貸提供符合這些國家需求的服務、核能發電研發技術、專家及工程師的訓練。當這些國家引進核能發電反應器時，日本必定要思考我們在鈾燃料及混合氧化物燃料供應方面所能做到的貢獻。也因此我們必須在提供他國服務前做好萬全準備。

現今北韓發展核子武器、伊朗開發濃縮鈾技術的行為使推廣核能和平用途之路帶來陰霾。因此，核子武器非擴散條約（NPT）將更嚴格規範締約國確實將核能用作和平用途。

國際原子能總署（IAEA）和美國提出了核子燃料管理的構想，若這些構想能如鈽季刊（Plutonium）45期（2004年春季號）所述實行，即使是核子武器非擴散條約的締約國，視其是否擁有核子燃料循環設施將有所差別。

1977年到1980年間全球曾透過國際核子燃料循環評估報告（International Nuclear Fuel Cycle Evaluation）研究國際管理核子燃料的構想，但實際上構想尚未成形，原因是大眾對於非兩國式的雙邊談判仍有些許疑慮。國際核子燃料的供應及管理可能會引發供給責任及核子燃料品質管制的信心危機。大規模發展核子的國家，應該在國際監督下有效利用鈾資源，以及設置自身的核子燃料循環設備。而我們相信，對於小規模核子發電的國家而言，核能技術先進國透過供給燃料和管理給予協助和支持，則是相當可行且實際的作法。

對日本而言，與亞洲國家進行合作非常重要。舉例來說，我們可以發想整體性的契約，由日本提供沒有核子擴散疑慮及具負載監控功能的小型反應器，並且提供燃料、分享管理經驗。

隨著地球暖化帶來的環境變化浮上枱面，日常生活受到的嚴重影響隨處可見，對抗溫室效應已經變成所有國家在維持能源穩定供給時也要面對的問題。由此看來，提倡核能發電作為大規模電力來源是最好的選擇。鬆綁對於擁有核子武器的定義，乃是通往全球性大規模發展核能的捷徑。然而知易行難，因此日本必須先拋磚引玉，主動提供核子武器非擴散條約締約國核能和平用途的科技與經營知識。我們現在已經正式邁入此時期了。

（本文取材自Plutonium No.52 Winter 2006）



開放雅卡山管制上限呼聲四起

■ 編輯室

美國核能法案遊說人士表示，布希政府應解除內華達州雅卡山（Yucca Mountain）放射性廢棄物貯存場提案的聯邦管制。

原預定在拉斯維加斯西北方900哩處興建的內華達沙漠地下放射性廢棄物貯存場，進度不僅落後10年餘，且仍持續受政治紛擾阻礙。

布希總統的行政團隊可望數週內向國會送交最新立法提案，目的是讓面臨瓶頸的貯存場計畫有實際進展。共和黨參議員暨參院能源委員會（the Senate Energy Committee）主席多明尼契（Pete Domenici）將主導此案，他本身亦是核能擁護者。

核能協會（Nuclear Energy Institute）官員表示，政府應開放該場址放射性廢棄物77,000噸（70,000公噸）的管制上限。核能協會負責為美國103座核能電廠所有者遊說。

核能協會用過核子燃料管理處資深管理師卡夫特（Steve Kraft）對記者表示，「放射性廢棄物總量管制一定要處理。」他進一步指出，目前總量管制被「人為」政治力操控，而不是由科學數據決定。

卡夫特謝絕對新管制數量做出評論，但他指出能源部研究報告顯示，雅卡山最多可以承載111.5噸(105公噸)放射性廢棄物。

他進一步說明，以目前美國核能電廠產生放射性廢棄物的速度來看，雅卡山放射性廢棄物貯存場一旦開放，將會立刻達到管制總量上限。

美國核能電廠提供全國約20%的電力，而產生的放射性廢棄物日漸增多，其中5萬餘噸(45,500公噸)散布放置在39州的100多個臨時貯存場。

卡夫特說，政府應該停止徵收反應器每度電的聯邦基金，且另一項由核能管制委員會（Nuclear Regulatory Commission）執行認證的規定--放射性廢棄物須在特定時間內移置國家級貯存場（如雅卡山）也該取消。

核能協會期待20年內能建造9-12座新核能電廠，諸如此類的規則修訂將可清除建廠之路的絆腳石。

卡夫特說，雖然有些延誤，但雅卡山放射性廢棄物貯存場應能在2025年前開放。

「科學論述基礎並沒有改變，」他說。「長久以來能源部遇到了各式各樣的擋路石，現在是該清掉的時候了。」

根據能源部官員表示，政府提案可以確保國會提撥的雅卡山基金安全無虞。然而，反對提案者包括參議員民主黨黨鞭雷德等人，他們計畫要刪減基金預算以擱置提案。

提案也將保留國有約147,000英畝的土地，用以建造鐵路運送用過核子燃料到雅卡山場址。

（本文取材自美國路透社網站，http://today.reuters.com/news/home.aspx，2006/03/20）



法國南部馬庫爾（Marcoule）地區的優美田園景緻，歷史悠久的馬庫爾核能中心與周遭環境共榮共存（法國COGEMA公司提供）。